



TECNOLOGIA DE SENSADO REMOTO PARA LA VIGILANCIA DE LA ATMÓSFERA Y LA CALIDAD DEL AIRE EN PASTO, NARIÑO

Estudiante:

Janneth Fernanda Chapues Andrade
Candidato a Magíster en Física

Director:

Mg Sc. Luís Andrés Santacruz Almeida
Docente tiempo completo
Universidad de Nariño

Co-Director:

Dr. Álvaro Efraín Bastidas Gustín
Docente tiempo completo
Universidad Nacional sede Medellín

San Juan de Pasto
Junio de 2023

Equipo de trabajo

Co-Director:

**Dr. Álvaro Efraín Bastidas
Gustín**

*Docente tiempo completo
Universidad Nacional sede Medellín*

Director:

**Mg Sc. Luís Andrés
Santacruz Almeida**

*Docente tiempo completo
Universidad de Nariño*

**Fernanda Chapues
Andrade**

*Estudiante de maestría en Física
Universidad de Nariño*

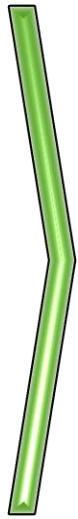
**Mg Sc. Alberto
Quijano Vodniza**

*Docente tiempo completo
Universidad de Nariño*

Introducción



Distintas técnicas para el **CONTROL DE CALIDAD DE AIRE Y SENSADO REMOTO**



ALREDEDOR DEL MUNDO



agencia espacial Europea



ozono, el espesor óptico de aerosoles, la cantidad de agua precipitable, entre otros



COLOMBIA



- 1967
- Monitorea la calidad de Aire



PASTO



información ínfima, carece de continuidad



PASTO: La información es obtenida a partir de tecnologías convencionales y no tan precisas:

como las que pueden obtenerse con la **tecnología de sensado remoto**

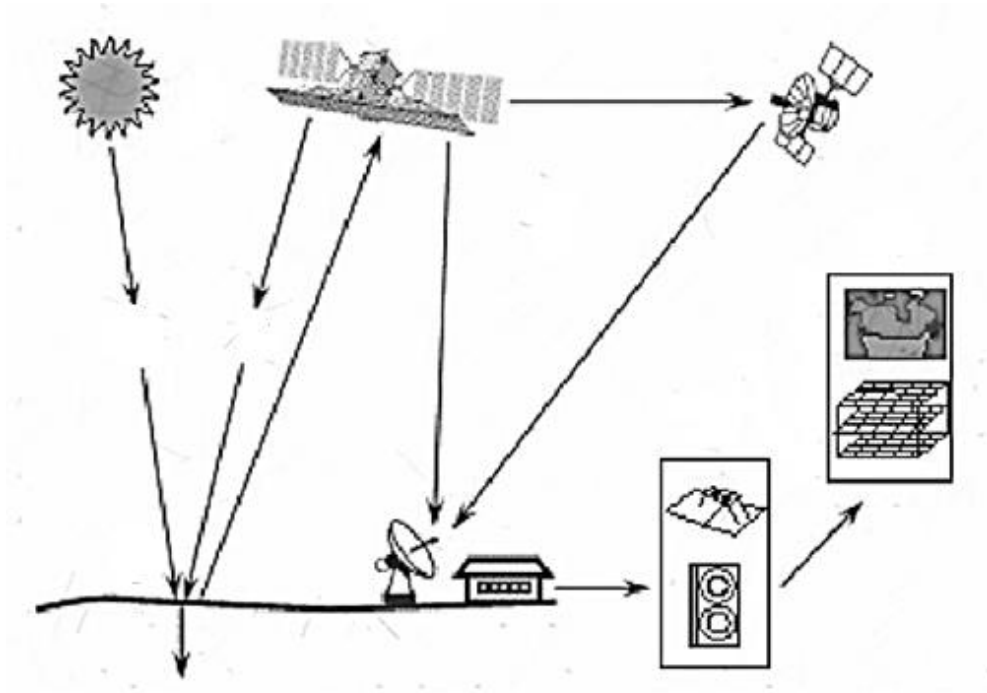
(el espesor óptico de aerosoles, la cantidad de agua precipitable, entre otros...)
\cite{tesisdoc}.

(---sensado remoto)
\cite{ideam2020}.

Introducción

En Pasto, hace falta contar con sistemas más eficientes pero a la vez económicos para el estudio y seguimiento de la calidad del aire.

Sistemas de Sensado Remoto



Eficientes



Económicos

METODOLOGÍA

Ensamblaje del equipo de Sensado Remoto



Fuente de radiación electromagnética en la region del visible: luz Solar



Telescopio para envío y recepción de la luz

Propiedad de



Detector tipo **espectrómetro** a **fibra óptica**

Propiedad de



Equipo de cómputo para el registro de señales digitales.

Propiedad de Investigadora (Fernanda Chapues)



METODOLOGÍA

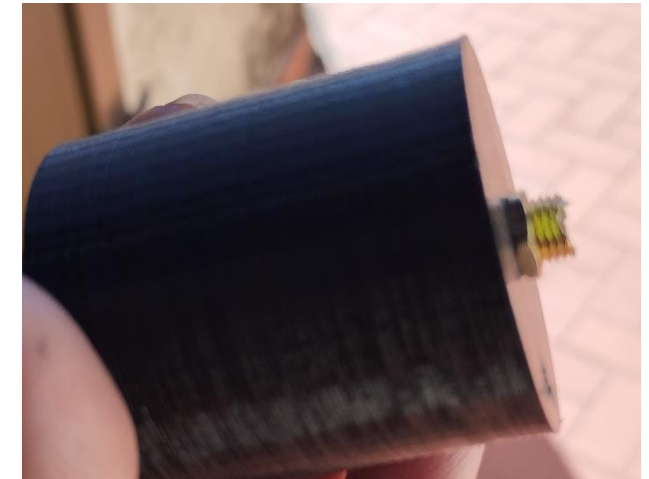
Construcción del acople Ocular



Conector SMA hembra



Adaptado para fibra óptica



METODOLOGÍA

Montaje final del equipo de Sensado Remoto



METODOLOGÍA

Recolección de datos

Toma de mediciones:

1 Diciembre del 2022- 31 de Diciembre del 2022 (excepto 18 de diciembre)

Lugar: Terraza del observatorio astronómico de la Universidad de Nariño

Horario:

De 6:00 AM - 12 M

Periodicidad:

Cada 30 Minutos



Humedad

90%



Presión

↑ 1014.6 mb

11°

Sensación térmica

Índice de calidad del aire

23

Bueno

La calidad del aire se considera satisfactoria y la contaminación atmosférica representa un riesgo escaso o nulo.

<https://weather.com/>

METODOLOGÍA

Recolección de datos



Zona Sur



Zona volcán



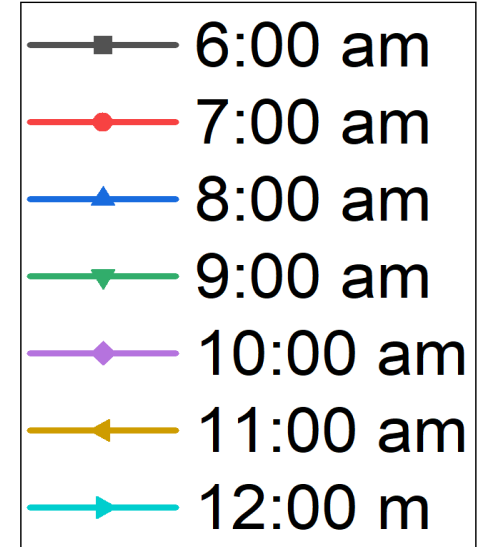
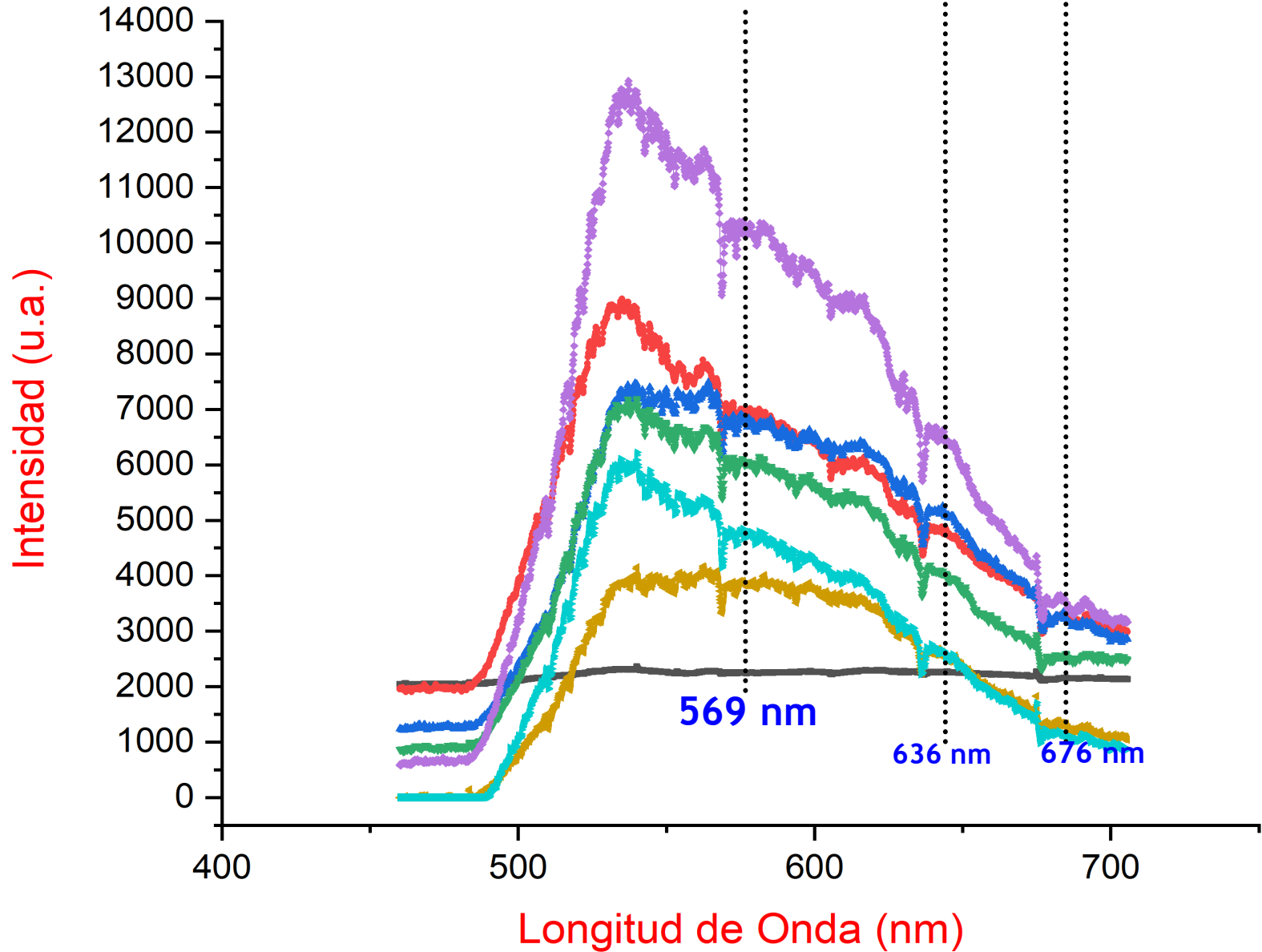
Zona Oriente



Resultados y Análisis



28 de Diciembre del 2022 - **Volcán**



569 nm -> Ozono

636 nm -> Clorofila b

676 nm -> Clorofila a



De los contaminantes
comunes que absorben dentro
del rango visible como:

NO_2 , NO_3 , O_3 , PM,
 SO_2 , Compuestos orgánicos
volátiles,



*Sólo se vio una absorción
notoria debida al **Ozono**,*



*por lo tanto, se
concluye que el
contaminante
dentro del visible*

**con mayor
concentración en
la ciudad de Pasto
es el Ozono.**

Ajuste de los espectros:

Al graficar en Origin los espectros obtenidos durante las mediciones de este trabajo, se identificó que estos se ajustan a la distribución de valores extremos, además, se notó que es necesario fijar los valores de y_0 y A , para realizar un ajuste adecuado.

La ecuación de la distribución de valores extremos es:

$$y = y_0 + A \exp \left(-e^{\frac{x-x_c}{W}} - \frac{x-x_c}{W} + 1 \right)$$

En este caso se tendría que:

- ✓ y = Intensidad
- ✓ x = Longitud de Onda
- ✓ $y_0 = I_{min}$
- ✓ I_{max} = Intensidad Máxima
- ✓ A = amplitud
- ✓ W = Escala de la distribución
- ✓ x_c = centro

A partir de los datos de este trabajo, se identificaron siguientes casos para determinar el valor del parámetro A :

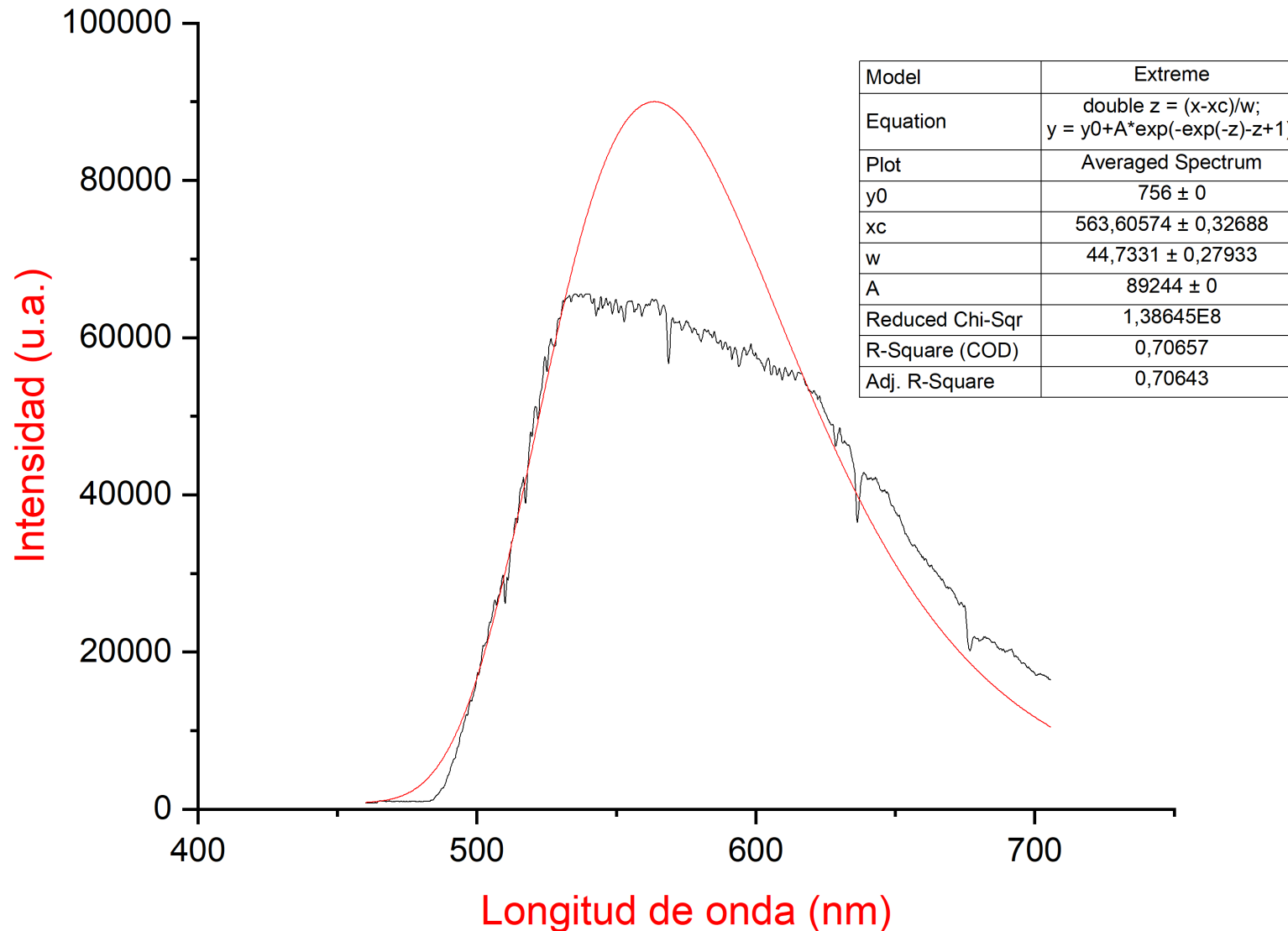
I CASO: si $1000 < I_{max} < 10000$ **II CASO:** si $10000 < I_{max} \leq 30000$ **III CASO:** si $30000 < I_{max} \leq 50000$ **IV CASO:** si $5000 < I_{max} < 70000$

$a.$ $b.$

$a.$ $b.$

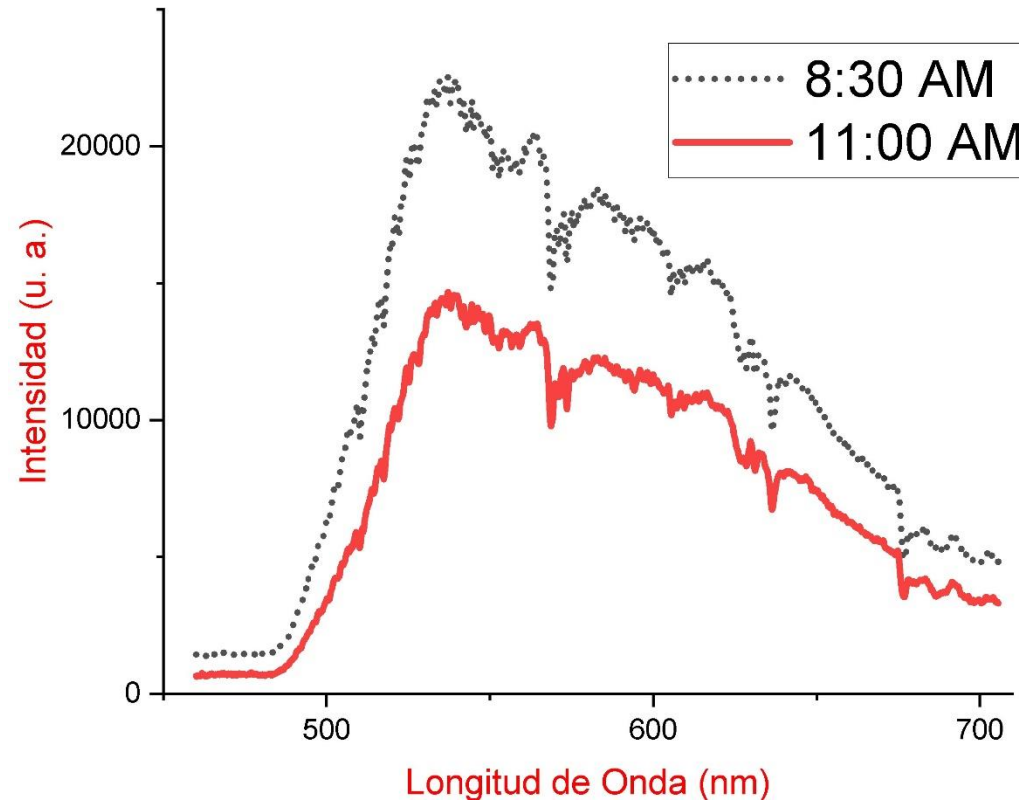
$a.$ $b.$

Ejemplo: En un espectro tenemos que: $y_0 = 756$, $I_{max} = 65535$, se usa entonces el **CASO IV b)**, ya que el segundo dígito de izquierda a derecha es **5**, se lo aproxima el número al siguiente múltiplo de 10 mil (70000), se le suma 20000 (90000) y se le resta y_0 , por lo tanto: $A = 89244$.



Cálculo de FWHM:

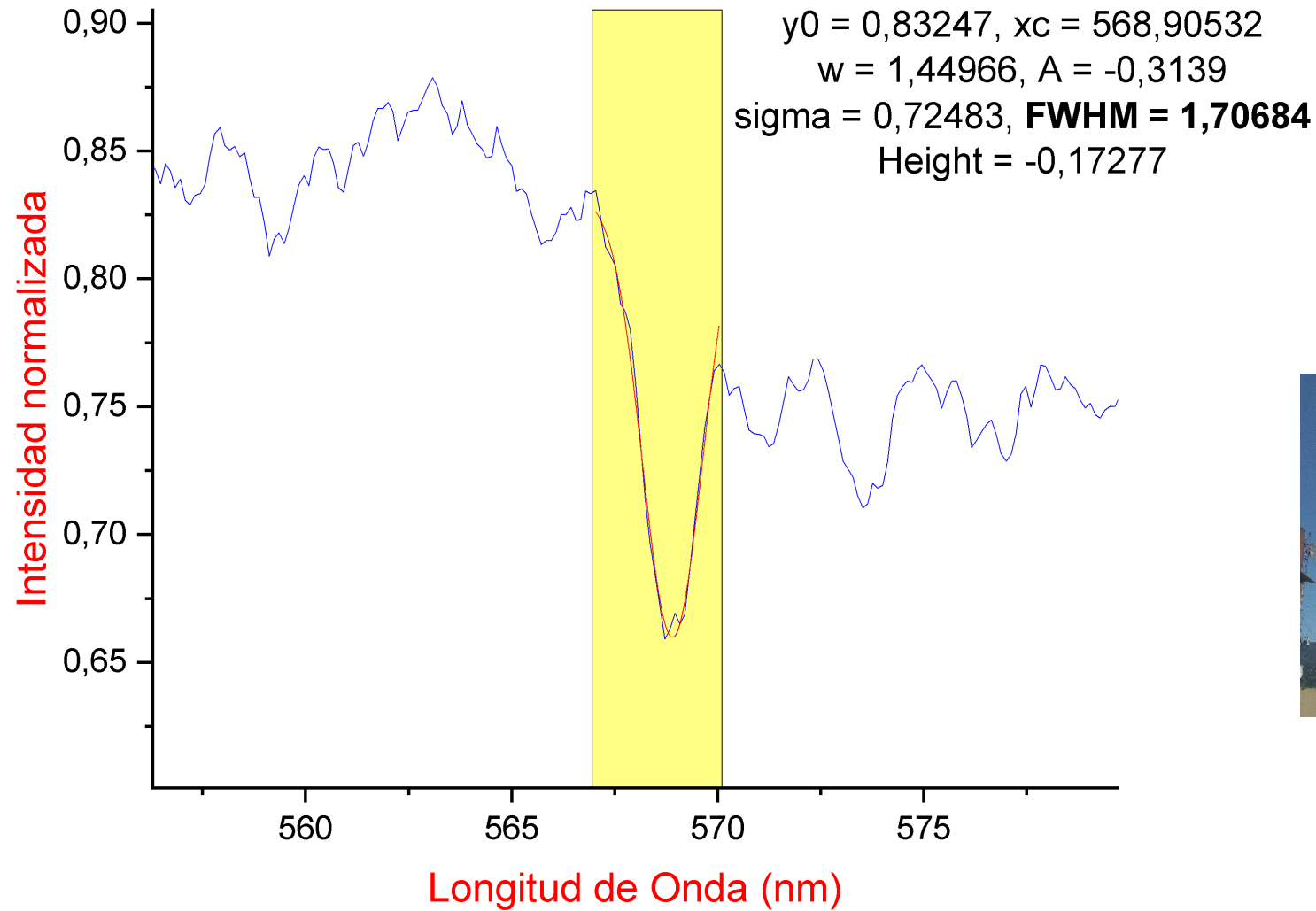
Como se observa en los espectros obtenidos durante la experiencia se presentan diferentes valores de amplitud en la Intensidad.

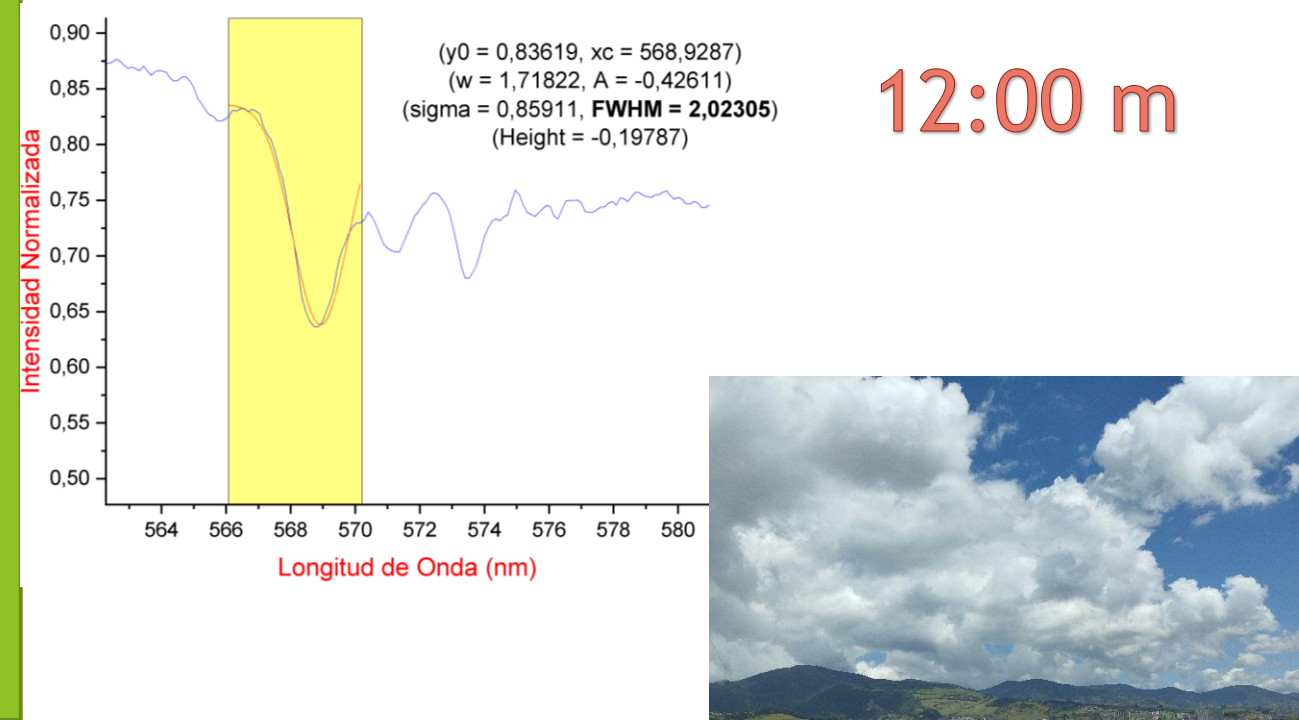
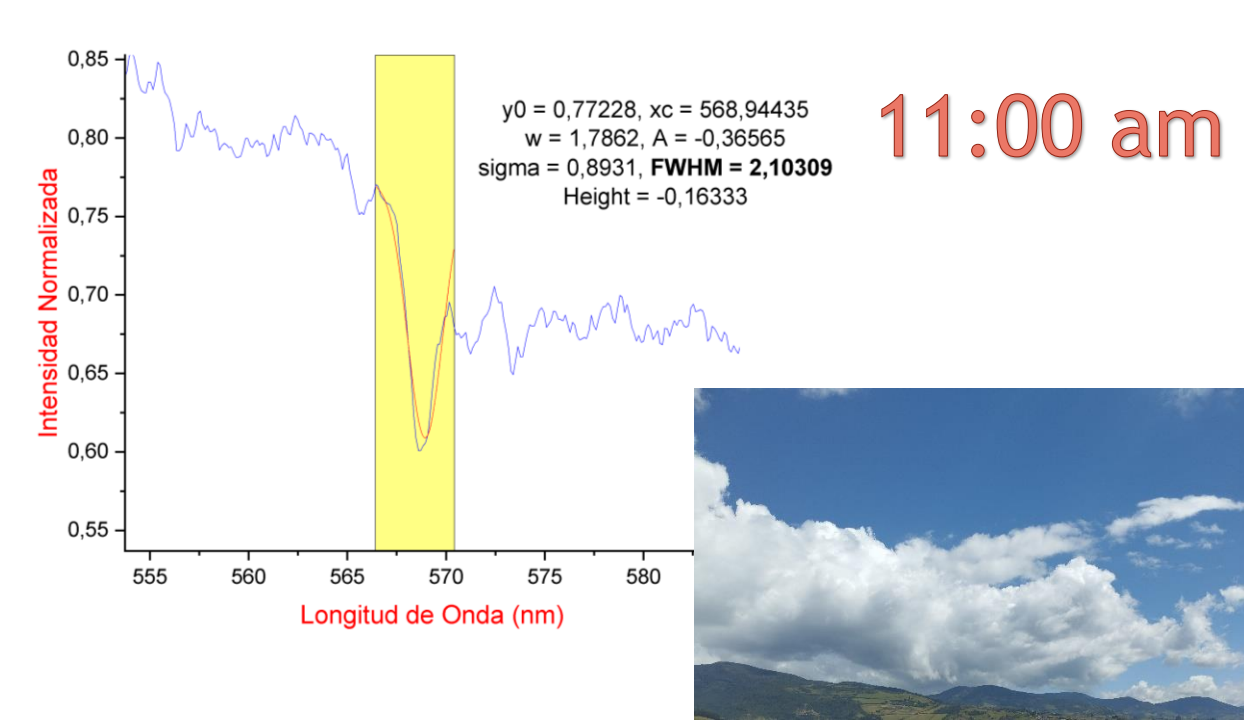
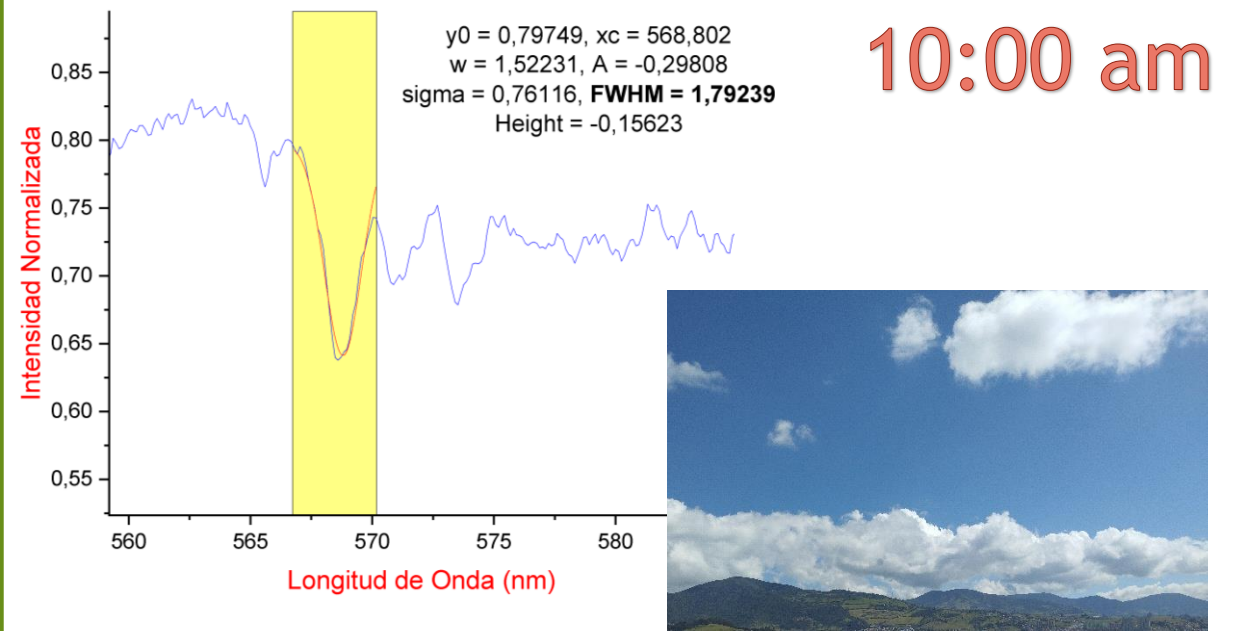
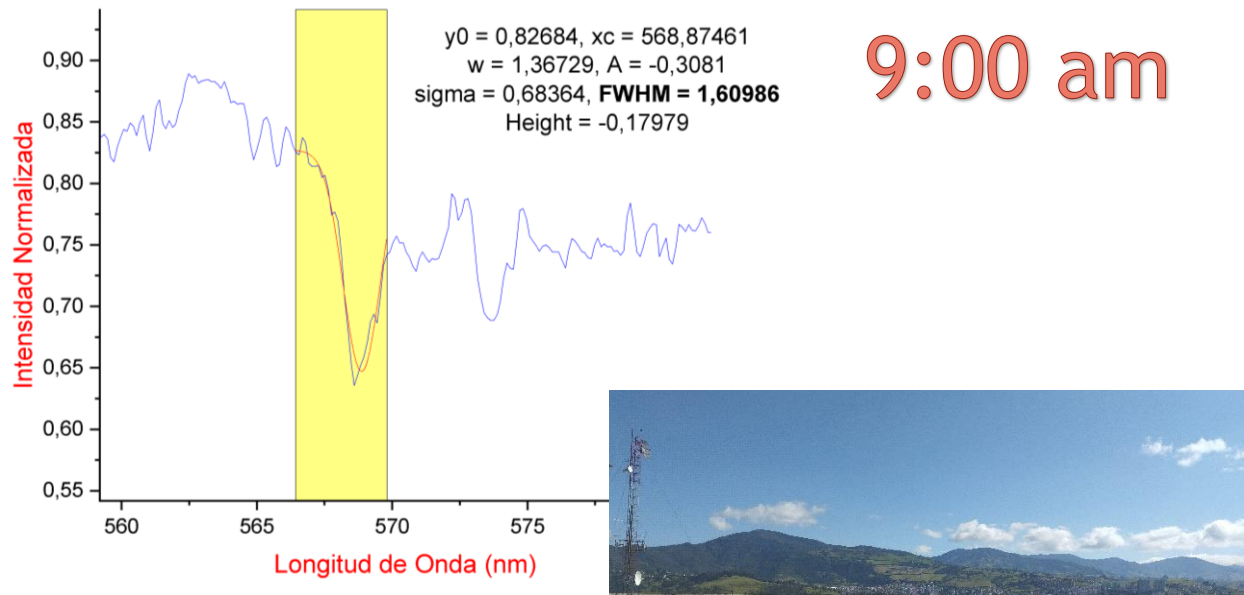


Estos valores no nos sirven para hacer una comparación entre espectros, sin embargo, si se normalizan los espectros, se podrían realizar comparaciones. Por ejemplo, si se quiere calcular y comparar el valor de **FWHM** para picos de absorción del Ozono en diferentes horas.

Cálculo de FWHM:

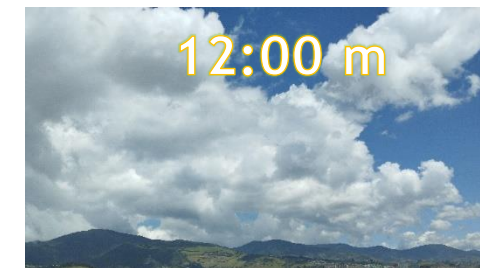
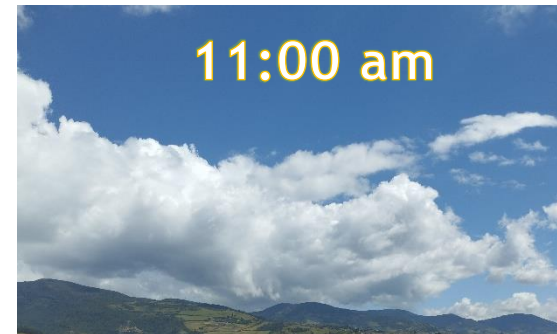
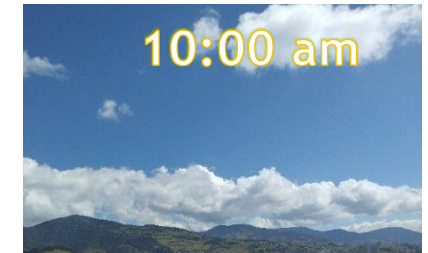
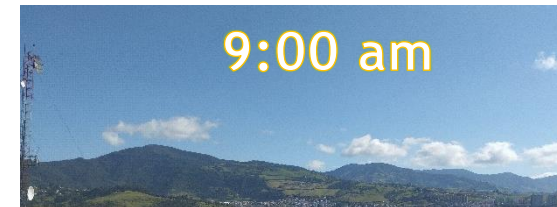
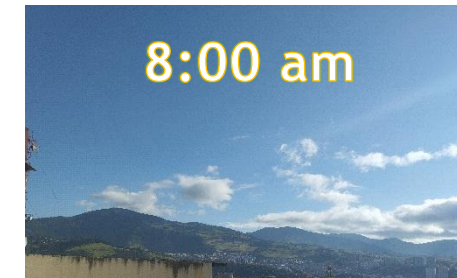
8:00 am





Los valores de FWHM, se sintetizan en la siguiente tabla:

Hora	FWHM
8:00 am	1,70684
9:00 am	1,60986
10:00 am	1,79239
11:00 am	2,10309
12:00 m	2,02305



Con los datos de la tabla se calcula el valor de desviación estándar igual 0,1873.

Notamos que donde se obtuvieron los valores de FWHM superiores a 1,78 hay un cambio en el ambiente (gran presencia de nubes), lo que genera el cambio de resolución espectral.

Cálculo de Espesores Atmosféricos

Para estudios de la atmósfera, la radiación solar directa que atraviesa la atmósfera puede ser modelizada con la siguiente ecuación:

$$\ln(I) = \ln \left(\frac{I_0}{R^2} \right) - m \cdot \tau_{tot}$$

Donde: I es la atenuación de la radiación directa e I_0 es el flujo de energía espectral que alcanza la cima de la atmósfera. La masa óptica (m), la distancia media Tierra-Sol (R^2) y el espesor óptico (τ_{tot}) de todas las especies atmosféricas, que describe la transmisión de energía a través de la atmósfera \cite{espesoroptico,alcantara}.

El espesor óptico total se calcula con la siguiente ecuación:

$$\tau_{tot} = \tau_A + \tau_{Oz} + \tau_R$$

τ_{tot} = Espesor óptico total

τ_A = Espesor óptico debida a los aerosoles

τ_{Oz} = Espesor óptico debida al Ozono

τ_R = Espesor óptico debida a la dispersión Rayleigh

Cálculo Espesor τ_R

Se puede calcular fácilmente el espesor τ_R , con las ecuaciones:

$$\text{Moller (1957)} \quad \tau_R = 0,008735 \lambda^{-4,09} \frac{p}{p_0}$$

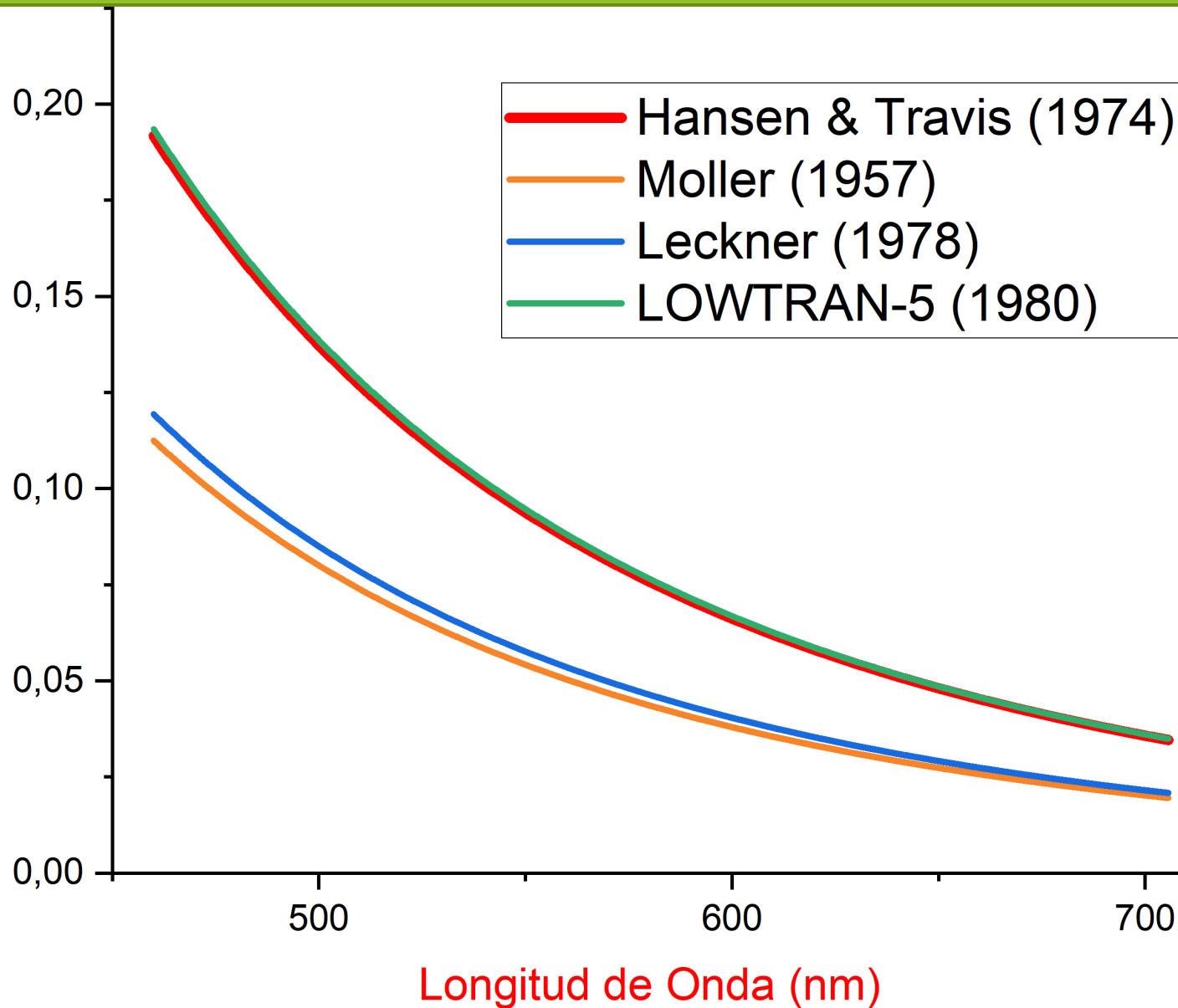
$$\text{Hanse y Travis (1974)} \quad \tau_R = 0,008569 \lambda^{-4} (1 + 0,0113 \lambda^{-2} + 0,00013 \lambda^{-4}) \frac{p}{p_0}$$

$$\text{Leckner (1978)} \quad \tau_R = 0,008735 \lambda^{-4,09} \frac{p}{p_0}$$

$$\text{LOWTRAN-5 (1980)} \quad \tau_R = \lambda^{-4} (115,6406 - 1,3366 \lambda^{-2})^{-1} \frac{p}{p_0}$$

Además, sólo es necesario tener los valores de presión del lugar donde fueron tomadas las mediciones, en este caso, se calcula para el día 28 de diciembre, dónde la presión fue de 1015,3 hPa.

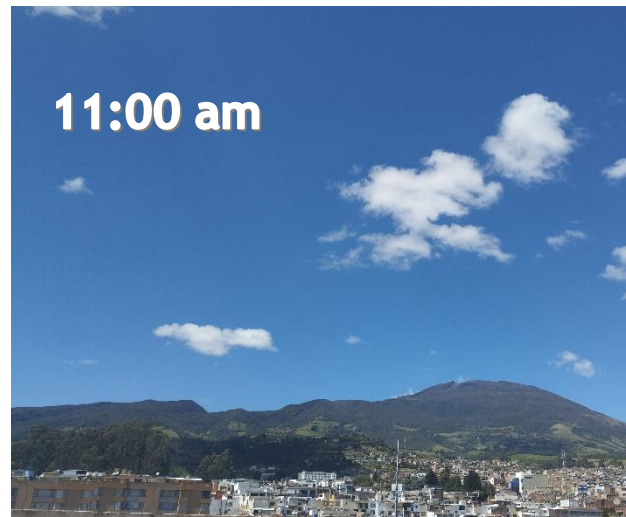
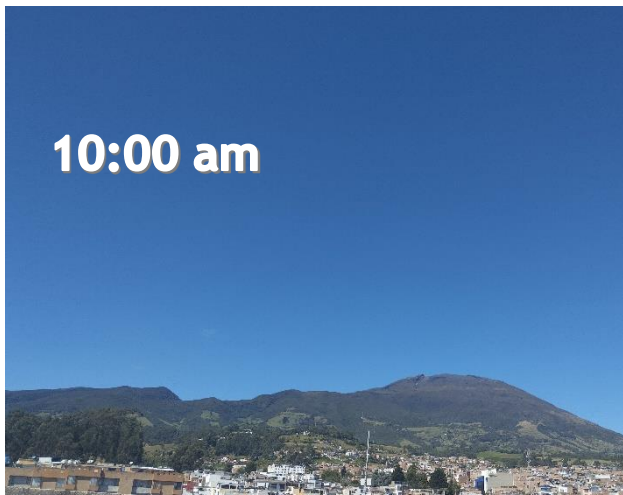
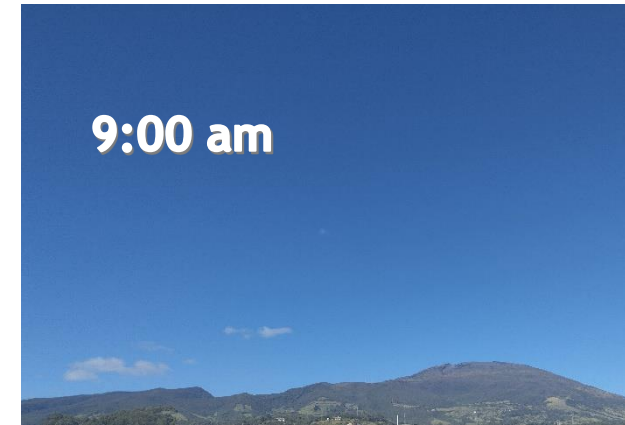
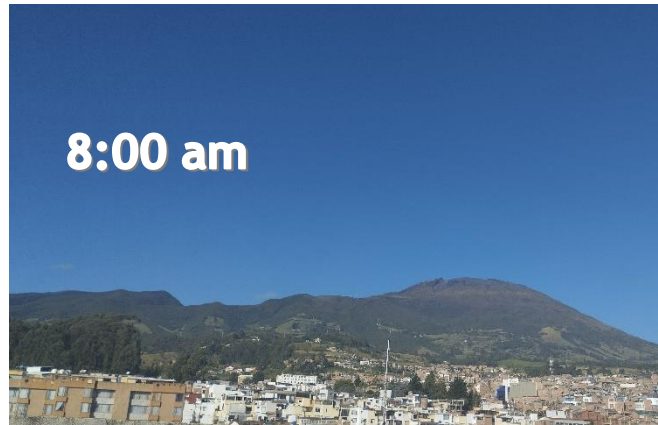
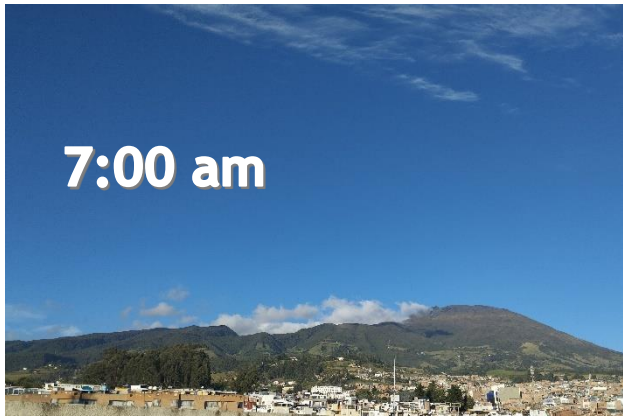
Espeor óptico de Rayleigh



LOWTRAN 5 es un modelo computacional utilizado para calcular la transferencia de radiación a través de la atmósfera terrestre y su aproximación es una de las más actualizadas, por lo tanto, se recomienda utilizar esta aproximación para calcular el espeor óptico de Rayleigh en situaciones donde se requiere una alta precisión.

Cálculo Espesor τ_{tot} experimental

Se calculó el espesor óptico total experimental, con los datos obtenidos el día **23 de diciembre del 2022** en la Zona Volcán, ya que fue uno de los días y zona donde se mantuvo un cielo casi despejado, en comparación a los otros días, como se puede observar en las siguientes fotos:

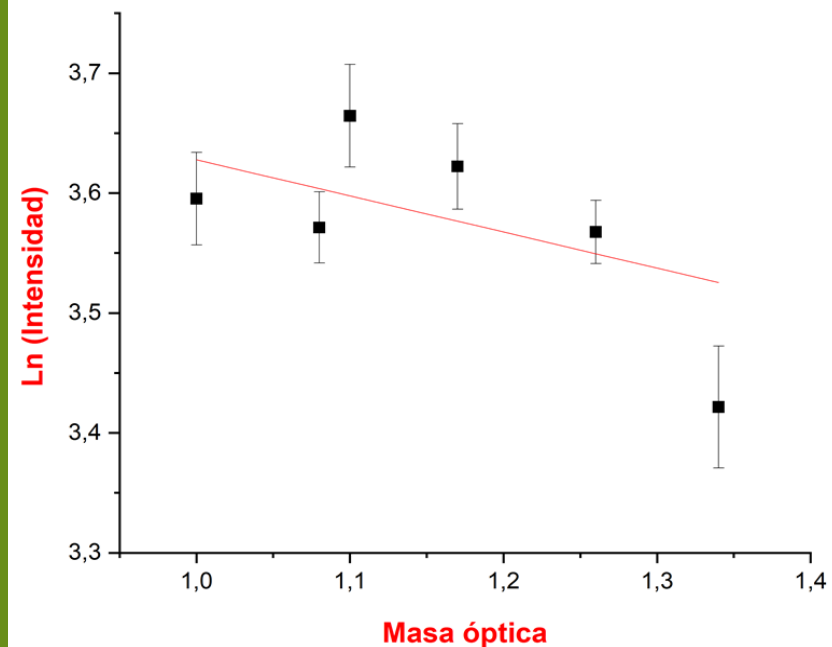


$$\underbrace{\ln(I)}_{\text{Variable dependiente}} = \ln \left(\frac{I_0}{R^2} \right) - \overbrace{m}^{\text{Variable independiente}} \cdot \underbrace{\tau_{tot}}_{\text{Pendiente}}$$

masa óptica (m)					
7:00 am	8:00 am	9:00 am	10:00 am	11:00 am	12:00 m
1,0833	1,1095	1,0258	1,1300	1,0548	1,0615

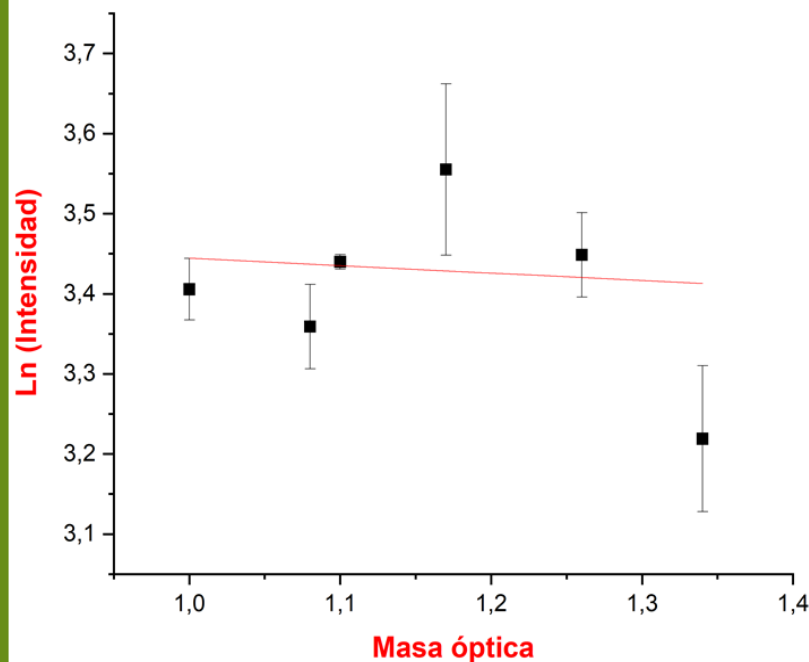
Masa óptica	Ln(I) a los:		
	569 nm	636 nm	676 nm
1,0833	3,622	3,555	3,456
1,1095	3,5678	3,449	3,291
1,0258	3,595	3,406	3,186
1,1300	3,422	3,219	2,956
1,0548	3,571	3,359	3,113
1,0615	3,664	3,440	3,108

$$\tau_{tot} = -1,44 \pm 0,82$$



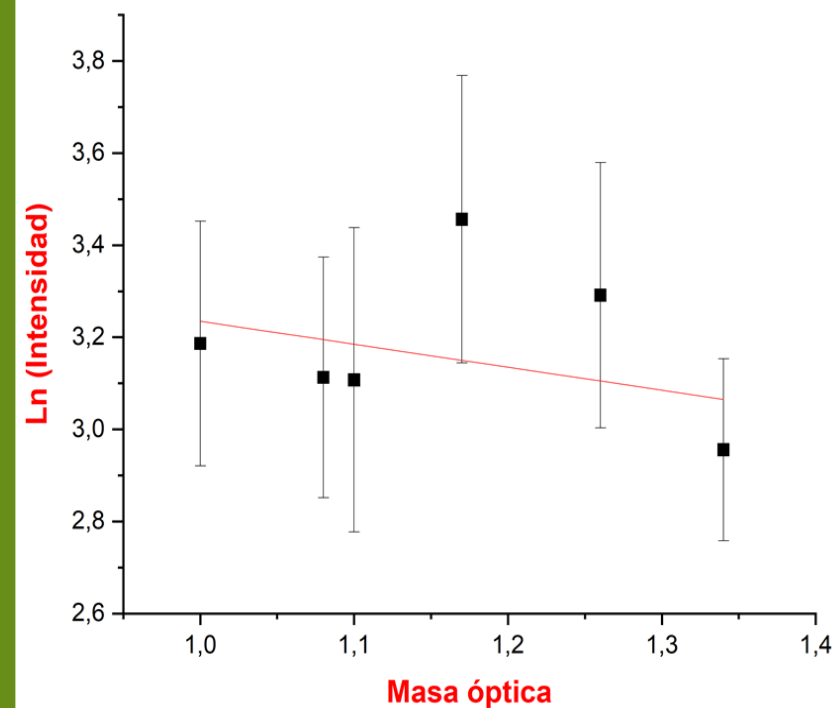
Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Ln (I) en los 569 nm
Weight	No Weighting
Intercept	$5,12015 \pm 0,87863$
Slope	$-1,43517 \pm 0,81502$
Residual Sum of Squares	0,01929
Pearson's r	-0,66082
R-Square (COD)	0,43668
Adj. R-Square	0,29585

$$\tau_{tot} = -1,0 \pm 1,4$$



Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Ln (I) a los 636 nm
Weight	No Weighting
Intercept	$4,45169 \pm 1,49215$
Slope	$-0,97181 \pm 1,38412$
Residual Sum of Squares	0,05562
Pearson's r	-0,33124
R-Square (COD)	0,10972
Adj. R-Square	-0,11285

$$\tau_{tot} = -0,6 \pm 2,2$$



Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	Ln (I) a los 676 nm
Weight	No Weighting
Intercept	$3,81594 \pm 2,4195$
Slope	$-0,58552 \pm 2,2443$
Residual Sum of Square	0,14624
Pearson's r	-0,12935
R-Square (COD)	0,01673
Adj. R-Square	-0,22909

El espesor óptico total se calcula con la siguiente ecuación:

$$\tau_{tot} = \tau_A + \tau_{Oz} + \tau_R$$

τ_{tot} = Espesor óptico total

τ_A = Espesor óptico debida a los aerosoles

τ_{Oz} = Espesor óptico debida al Ozono

τ_R = Espesor óptico debida a la dispersión Rayleigh

Conclusiones



CONCLUSIONES

Es posible obtener datos espectrales a través de un sistema de sensado remoto pasivo compuesto principalmente por 3 elementos: un telescopio, un espectrómetro y un computador sencillo. Este sistema recopila de manera exitosa datos en el espectro y con su aplicación se obtuvo la distribución espectral de la ciudad de Pasto para el mes de diciembre de 2022.

En las distribuciones espectrales de la ciudad de Pasto se observan picos de absorción sobresalientes relacionados con el ozono (≈ 569 nm), clorofila *b* (≈ 636 nm) y clorofila *a* (≈ 676 nm).

El ozono es el contaminante con mayor concentración en la ciudad.

CONCLUSIONES

Las distribuciones espectrales de la ciudad de Pasto se ajustan a la distribución de valores extremos con dos parámetros fijos.

Con los datos tomados en la experiencia es posible obtener:

- Valores de τ_{tot} para distintos valores de longitudes de onda
- Medidas de FWHM del pico de absorción del ozono después de normalizar los espectros
- Gráficas de τ_R .

Perspectivas

PERSPECTIVAS

Hacer uso de un espectrómetro que tenga un rango de longitud de onda más amplia, hacia el infrarrojo y el ultravioleta, con el fin de observar la absorción de todo tipo de contaminantes en el espectro.

Realizar mediciones en la tarde y noche, ya que es posible que algunos contaminantes muestren su absorción en estos horarios.

Continuar aprendiendo las técnicas de sensado remoto para fortalecer el programa de Física de la universidad de Nariño, y así formar futuros profesionales interesados en este campo de estudio.

Desarrollar algoritmos y aprender sobre herramientas computacionales que involucren y faciliten mediciones remotas y que permitan inferir a partir de los datos

Fortalecer las relaciones entre el Departamento de Física de la Universidad y la Escuela de Física de la Universidad Nacional, para que los estudiantes de pregrado y posgrado interesados en esta línea de investigación, tengan la oportunidad de realizar intercambios educativos.

Agradecimientos

Referencias



¡Gracias!